"N10" สุดยอดของความเร็ว

อนุชา พิทักษานนท์กุล

อินเทลได้พลิกโฉมหน้าของโลกไมโครโปรเซสเซอร์ไปสู่อีกยุคหนึ่งด้วยการเผยโฉมไมโครโปรเซสเซอร์ตัวใหม่ล่าสุด ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์มากถึง 1 ล้านตัว จำนวนทรานซิสเตอร์ขนาดนี้บนชิพตัวเดียวเพิ่งจะทำได้ก็บนชิพตัวล่าสุดนี่เอง ด้วยความซับซ้อนนี้บวกกับเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดที่เรียกว่า RISC (Reduced Intsruction Set Computer) ทำให้ชิพตัวใหม่ชื่อ เอ็น-เท็น มีความเร็วสูงมากชนิดที่ไม่เคยมีมาก่อนในประวัติศาสตร์

จำนวนทรานซิสเตอร์บนเอ็น-เท็นแสดงให้เห็นถึงการก้าวกระโดดทางเทคโนโลยี เพราะจำนวนทรานซิสเตอร์บน 80386 ซึ่งเป็นชิพ ตัวหลังสุดของอินเทลมีเพียง 275,000 ตัว อินเทลได้แหวกแนวตลาดไปจากเดิมที่ตัวเองเคยทำ เพราะเอ็น-เท็นจะทำงานร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ตัวก่อน ๆ ไม่ได้ เนื่องจากเอ็น-เท็นใช้เทคโนโลยี RISC

i860 เป็นชื่ออย่างเป็นทางการของเอ็น-เท็น ซึ่งเริ่มต้นพัฒนามาพร้อมกับไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นต่อจาก 80386 คือ 80486 แต่ยังไม่ได้รับการเปิดเผยว่าเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำออกสู่ตลาด เอ็น-เท็นกับ 80486 มีขนาดใกล้ ๆ กัน และใช้เทคโนโลยีแบบ CMOS ที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร(ไมครอน) โดยทำการพัฒนาอยู่ในหน่วยงานของอินเทลที่เมืองฮิลล์โบโรมลรัฐโอเรกอน

ในช่วงแรกเริ่มของการพัฒนาเอ็น-เท็นนั้น กลุ่มที่รับผิดชอบในการออกแบบเอ็น-เท็นหมดกังวลตรงที่ว่า เอ็น-เท็นไม่จำเป็นต้องเข้ากันได้กับไมโครโปรเซสเซอร์ตัวก่อน ๆ ที่เคยมีมา การเริ่มต้นออกแบบก็ทำกันด้วยกระดาษเขียนแบบว่าง ๆ แต่ก็ว่างอยู่ได้ไม่นานนักเพราะนายเลสลี่ โคห์น หัวหน้ากลุ่มออกแบบซึ่งมีสมญานามว่า คุณ RISC จัดแจงเดินเครื่องเลยทันที ด้วยความปรารถนาอันแรงกล้าหลังจากเข้าร่วมงานกับอินเทลเมื่อปี 1982 เพื่อออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้เทคโนโลยีของ RISC การออกแบบครั้งแรกกินเวลา 18 เดือน หลังจากตรวจสอบดูแล้วปรากฏว่า ยังเอาออกมาขายไม่ได้เพราะเทคโนโลยีของการสร้างชิพในช่วงนั้นไม่สามารถที่จะทำทรานซิสเตอร์จำนวนมากไว้บนชิพตัวเดียวได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพของไมโครโปรเซสเซอร์ไม่ตรงกับสิ่งที่ออกแบบก่อนหน้านี้ งานออกแบบครั้งที่สองจึงถูกบริษัทสั่งระงับกลางคัน เพราะบริษัทไม่ต้องการลงทุนกับกระบวนการพิเศษเพื่อทำทรานซิสเตอร์จำนวนหลาย ๆ ตัวบนชิพเพียงชิ้นเดียว

ขณะเดียวกันความต้องการไมโครโปรเซสเซอร์คุณภาพสูงกำลังพุ่งขึ้นตลอดเวลา โดยเฉพาะเครื่องไมโครที่วิศวกร

กลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบ N-10 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่เร็วที่สุดในโลก

ใช้ในงานออกแบบ และเครื่องที่เกี่ยวข้องกับการแสดงภาพซึ่งคุณลักษณะเช่นนี้ตรงกับเทคโนโลยี RISC ปัจจุบันมีบริษัทเกิดใหม่หลายแห่ง เช่น MIPS, SUN และบริษัทเก่าแก่อย่างโมโตโรล่า ต่างเตรียมพร้อมที่จะผลิต RISC ออกมาขายทั้งนั้น ทำให้อินเทลตัดสินใจย้อนกลับมาพัฒนาชิพ RISC อีกหนหนึ่ง แต่อินเทลเริ่มรู้ตัวแล้วว่าชิพที่คนจะนำออกจำหน่ายอาจจะไม่ใช่ตัวแรกในท้องตลาด อินเทลจึงพยายามแก้จุดบกพร่องข้อนี้ โดยเพิ่มจำนวนบิตเป็น 64 บิต ซึ่งมีประสิทธิภาพเหนือกว่าคู่แข่งที่ทำเพียง 32 บิตเท่านั้น นับได้ว่าการตัดสินใจเด็ดขาดขั้นสุดท้ายของอินเทลที่จะทำชิพ RISC เมื่อเดือนมกราคม 1986 ต้องใช้ความกล้าหาญอย่างมาก เพราะบริษัทต้องลงทุนใหม่ในหลายสิ่งหลายอย่าง และแรงกดดันที่ตามมาก็คืออินเทลต้องมีสินค้าออกมาขายก่อนที่คู่แข่งจะทำการยึดตลาดไปจนหมดสิ้น อีกประการหนึ่งการพัฒนาเอ็น-เท็นเริ่มต้นกระทำในเวลาไล่เลี่ยกับ 80486 ซึ่งนายโคห์นหวั่นเกรงว่าทั้งสองกลุ่มจะแก่งแย่งอุปกรณ์และบุคลากรกัน โคห์นจึงพยายามวางแผนให้เอ็น-เท็นก้าวล้ำนำหน้ากลุ่มของ 80486 เพื่อขจัดปัญหาวิกฤตเรื่องการแย่งชิงทรัพยากรของบริษัทให้ลดลงไปบ้าง

จัดตั้งทีมงาน

โคห์นดึงคนอื่นเข้ามาร่วมงาน คนแรกเป็นคนจีนชื่อ ไซ ไว ฟู จากนั้นก็เลือกบุคคลที่เชี่ยวชาญการออกแบบส่วนสำคัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น ส่วนลอจิก ตัวควบคุมกลาง ส่วนคณิตศาสตร์ หน่วยความจำ ซึ่งมีทั้งที่ชักชวนมาจากทีมอื่นในอินเทลเองและพวกที่เพิ่งจบมหาวิทยาลัย จำนวนทั้งหมดรวมแล้วราว 20 คน มากกว่าที่ตั้งใจไว้ตั้งแต่ตอนแรกไป 8 คน แต่ก็น้อยกว่าทีมของ 80486 ถึง 10 คน

เริ่มออกแบบ

เรื่องที่ต้องทำเป็นอันดับแรกคือกำหนดขนาดของชิพ ในตอนต้นได้คาดคะเนไว้ราว ๆ 4.5 ซม. × 4.5 ซม. เป็นขนาดที่ใหญ่เทียบเคียงกับไมโครโปรเซสเซอร์ตัวก่อน ๆ แต่ถ้าเล็กเกินไปจะทำให้ชิพ RISC ทำงานได้ไม่สมบูรณ์ งานชิ้นแรกที่ทำคือ ออกแบบส่วนสำคัญด้านการคำนวณทั้งแบบไม่มีทศนิยมและมีจุดทศนิยมอย่างรวดเร็ว หน่วยความจำแคชที่ใหญ่พอ

ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนมากจะใช้ 5-10 รอบเวลาในการทำการคำนวณแบบมีจุดทศนิยม โคห์นต้องการลดลงให้เหลือเพียง 1 รอบเวลา ด้วยการใช้เทคนิคชื่อ ไป๊ป์ไลน์ (Pipelining) ควบคู่กับบัสข้อมูลแบบ 64 บิตและ 128 บิต เพื่อเชื่อมต่อระหว่างแคชและส่วนคำนวณแบบมีจุดทศนิยม ซึ่งมีข้อดีตรงที่จะไม่เกิดปัญหาจราจรหนาแน่น ส่วนสำคัญอีกส่วนก็คือต้องคำนวณแบบซูเปอร์คอมพิวเตอร์ได้ นั่นคือสามารถทำการคำนวณแบบเวกเตอร์และทำคำสั่งแบบขนานได้

ตอนต้นเดือนเมษายน 2529 ฟูเริ่มออกแบบวาดแผนผังอย่างคร่าว ๆ ของตัวชิพ แบ่งออกเป็น 8 ส่วนคือ RISC อินทีเจอร์ คอร์, เพจจิ้ง, แคชสำหรับข้อมูล, แคชสำหรับคำสั่ง, ตัวบวกแบบทศนิยม, ตัวคูณแบบทศนิยม, รีจิสเตอร์แบบทศนิยม และตัวควบคุมบัส หลังจากนั้นก็เริ่มคัดเลือกส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น ขนาดเส้นของข้อมูลแบบ 32 ไบต์ในแคช เพราะถ้าใช้เส้นเล็กจะยิ่งดี ทำให้รูปของแคชต่างไปจากแบบเส้นใหญ่ แต่รูปร่างอาจแปลกกว่าส่วนอื่นบนชิพ จึงต้องพยายามหาขนาดเล็กที่ไม่ค่อยประหลาดนัก ในการออกแบบแคชส่วนที่เก็บข้อมูลมีด้วยกัน 4 ส่วน ๆ ละ 128 บิต ทำให้สามารถทำงานแบบขนานได้ถึง 4 ทาง แต่เมื่อลองวาดต่อฟูเริ่มมองเห็นว่าการแบ่งสี่คงจะไม่ดีแน่ เพราะเส้นทางเดินข้อมูลจาก 4 ทิศทางที่วิ่งไปยังส่วนคำนวณแบบทศนิยมต้องมีการหักเลี้ยวบ่อยครั้งก่อให้เกิดปัญหาการวางผังซับซ้อนจนกระทั่งวาดแบบสุดท้ายออกมาไม่ได้ ผลสุดท้ายฟูต้องปรับปรุงแบบให้แคชส่วนที่เก็บข้อมูลเหลือแค่ให้ทำงานได้แบบ 2 ทาง

เมื่อร่างแบบเสร็จแล้วยังมีที่ว่างบนชิพ ทำให้เขาคิดได้ว่าไม่น่าจะอัดอุปกรณ์เสียจนแน่นเกินไปในตอนต้น แต่ในที่สุดที่ว่างนั้นก็ถูกบรรจุด้วยวงจรอื่น ๆ จนเต็ม ถึงอย่างไรปัญหาก็เกิดอีกจนได้ เมื่อวิศวกรในทีมแจ้งมาว่า ส่วนย่อยที่ออกแบบใหญ่กว่าที่คาดไว้ ปัญหาเริ่มยุ่งยากขึ้นเพราะว่าฟูไม่สามารถหาที่ว่างมาเสริมแทนได้ ท้ายที่สุดก็ต้องขยายพื้นที่ของชิพซึ่งเป็นหนทางแก้ไขที่พอจะทำได้ เนื่องจากถ้าชิพมีขนาดใหญ่มาก ๆ เวลานำไปผลิตจะได้ชิพดีต่อชิพเสียน้อยจนไม่อาจขายให้ได้กำไร นอกจากนี้ปัญหาทางไฟฟ้าก็ชวนให้ปวดหัวอีก เพราะโคห์นและฟูต้องการสร้างชิพที่ใช้กำลังไฟราว 4 วัตต์ที่ความถี่ 33 เมกะเฮิรตซ์ ฟูจึงจัดการแบ่งสันปันส่วนจำนวนวัตต์ให้แก่วิศวกรผู้ออกแบบส่วนย่อยเอาไปตามต้องการ ถ้าไม่พอให้แจ้งกลับมาด้วย แบบย่อยที่มีปัญหาก็คือวงจรขยายของหน่วยความจำ ซึ่งจะกินกำลังถึง 2.5 วัตต์ ต้องใช้เทคนิคการออกแบบวงจรใหม่ ทำให้ลดกำลังลงมาอยู่ที่ 0.5 วัตต์ เมื่อรวม ๆ แล้วตัวชิพจะกินกำลังแค่ 3 วัตต์

หนึ่งคำสั่งต่อหนึ่งรอบเวลา

เพื่อประสิทธิภาพที่เหนือชั้นกว่าคนอื่น ๆ ทีมออกแบบต้องยึดอยู่กับข้อกำหนดของการออกแบบที่กดดันมาก โดยปกติการประมวลผลคำสั่งหนึ่งคำสั่งต่อรอบเวลาเดียว RISC จะใช้ประมาณ 2 รอบเวลาต่อการประมวลผลหนึ่งคำสั่ง วิศวกรในทีมจึงต้องใช้สมองอย่างเต็มที่ เพื่อค้นหาเทคนิคต่าง ๆ เท่าที่จะหาได้มาทำการออกแบบ แต่ปัญหาไม่ได้หยุดอยู่แค่นั้น เพราะเมื่อทำหนึ่งคำสั่งต่อหนึ่งรอบเวลาได้แล้วยังต้องไปแก้ไขส่วนอื่น ๆ ให้เร็วสอดคล้องกันไปด้วย ตัวอย่างเช่น ต้องออกแบบอัลกอริทึมใหม่สำหรับการบวกและคูณแบบมีจุดทศนิยมให้ทำได้ในหนึ่งรอบเวลาในแบบไป๊ป์ไลน์ ตัวอัลกอริทึมนี้มีค่ามาก อินเทลกำลังขอจดทะเบียนลิขสิทธิ์อยู่ การหารแบบมีจุดทศนิยมไม่สามารถทำให้เร็วมากได้ รอบเวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 20-40 รอบเวลา อินเทลยอมลดประสิทธิภาพของเอ็น-เท็นลงไปนิดหน่อยเนื่องจากปัญหาเรื่องการปัดจุดทศนิยม ในการนี้อินเทลยอมใช้มาตรฐานที่กำหนดโดย IEEE ซึ่ง CRAY ผู้ผลิตซูเปอร์คอมพิวเตอร์ที่เยี่ยมที่สุดของโลกในตอนนี้ไม่ยอมรับมาตรฐาน เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องด้อยลง อินเทลยอมเสียความเร็วแลกกับมาตรฐาน เพื่อสนองความต้องการของลูกค้าโดยทั่วไปที่ต้องการสิ่งที่เป็นมาตรฐาน

แต่ทีมออกแบบของอินเทลได้ค้นพบสิ่งใหม่ในการเพิ่มความเร็วของการแสดงภาพแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ลูกค้าที่เป็นวิศวกรต้องการอย่างมาก ทีมผู้ออกแบบได้เพิ่มวงจรพิเศษลงไป ช่วยเพิ่มเนื้อที่บนชิพ 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความเร็วเพิ่มถึง 10 เท่า ความเร็วที่ทำได้คือ ทำการคำนวณภาพกราฟิกส่วนของภาพ 16 บิตได้ 16 ล้านส่วนต่อวินาที

เมื่อออกแบบตัวประมวลผลด้วยเทคโนโลยีแบบ RISC จะทำให้การโหลดข้อมูลจากแคชในหนึ่งรอบเวลาต้องเพิ่มรีจิสเตอร์ที่เป็นพอร์ตสำหรับเขียนเข้าไปอีกหนึ่งตัว เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างข้อมูลในการโหลดและผลลัพธ์ที่ส่งกลับมาจากส่วนคำนวณ ทีมออกแบบเอ็น-เท็นได้หาทางใช้พอร์ตเพียงตัวเดียวในรอบเวลาแค่หนึ่งรอบเวลา ดังนั้นจึงประหยัดเนื้อที่และทำงานได้เร็วในเวลาเดียวกัน การดึงข้อมูล

เลสลี่ โคห์น และ ไช ไว ฟู
หัวหน้าทีมวิศวกรผู้ออกแบบและ
ผู้จัดการโปรเจกต์ในทีมงานเอ็น-เท็น
งานเริ่มเมื่อเดือนมกราคม
และชิพตัวแรกเสร็จสิ้นในเดือน
กันยายน 1988 และได้ประกาศ
ตัวอย่างเป็นทางการเมื่อ
เดือนกุมภาพันธ์ 1989

จากหน่วยความจำด้วยความเร็วสูงเป็นจุดเด่นข้อหนึ่งของ RISC แต่เนื่องจากคำสั่งแต่ละคำสั่งเป็นคำสั่งง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องมีการนำคำสั่งเข้ามาทีละเยอะ ๆ ทีมงานได้ทำการออกแบบวงจรทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงในการใช้เพียงหนึ่งรอบเวลาเพื่อดึงข้อมูลจากแคชโดยใช้กำลังเพียง 2.5 วัตต์เท่านั้น วงจรปัจจุบันที่มีเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำแบบสแตติก สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพพอ ๆ กันแต่ดึงกำลังมากกว่ามากมาย

ไม่มีส่วนประหลาดพิศดาร

การออกแบบวงจรที่มีทรานซิสเตอร์เป็นล้านตัวต้องการความแน่นอนในการออกแบบแต่ละส่วนอยู่มาก คือเมื่อเอาแต่ละส่วนมาประกบกันแล้ว ควรจะทำงานได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ จึงมีปรัชญาในการออกแบบระหว่างวิศวกรว่า "ห้ามมีส่วนประหลาดพิศดาร" เช่น วงจรหนึ่งใช้เวลา 20 ns ก็ไม่ควรจะไปหาวิธีแปลกประหลาดที่ยังไม่มีใครทดลองมาใช้เพื่อลดเวลาให้เหลือ 10 ns ควรจะหาวิธีที่มีคนทำแล้วแน่นอนว่าทำงานได้ ถึงแม้จะลดเวลาลงเหลือเพียง 15 ns ก็ตาม วิธีการอีกอันหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ก็คือการใช้เครื่องมือจากแผนก CAD มาออกแบบ เครื่องมือในการช่วยออกแบบวงจรนี้เป็นการออกแบบและเลียนแบบวงจรบนจอภาพ ซึ่งจะสะดวกกว่าการออกแบบโดยพิมพ์วงจรเข้าไปเป็นตัวหนังสือและตัวเลขสัญญาณออกของแต่ละวงจรก็สามารถดูจากจอภาพได้ทันที

ในการออกแบบวงจรจากระดับสูงที่หาได้จากไดอะแกรมเวลาลงไปถึงระดับต่ำสุดที่เป็นแบบแปลนเพื่อส่งไปกัดออกมาเป็นชิพนั้นมีหลายวิธี จะใช้มือทำหรือจะให้เครื่องทำก็ได้ ถ้าใช้มือก็จะใช้เวลานานและอาจมีข้อผิดพลาดได้เยอะ แต่จะได้แบบแปลนเล็กกว่าใช้เครื่อง เพราะเครื่องจะทำแบบแปลนขนาดใหญ่ มีข้อผิดพลาดน้อยและรวดเร็ว ทีมผู้ออกแบบจึงตัดสินใจว่า ถ้าส่วนที่มีการทำซ้ำ ๆ กันบ่อย ๆ เช่น หน่วยความจำจะใช้มือทำ เพราะเมื่อมันทำงานหลาย ๆ ครั้งโอกาสผิดพลาดก็จะน้อยและเวลาคงเสียไปไม่มากนัก ส่วนที่ซ้ำน้อย เช่น ส่วนควบคุมก็ใช้เครื่องทำ ถึงแม้จะเปลืองเนื้อที่ไปบ้างแต่สามารถประหยัดเวลาได้มาก และการใช้เครื่องทำมีข้อดีคือ ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงในวินาทีสุดท้ายก็ยังทำได้โดยไม่เสียเวลาเท่าไรนัก ผลปรากฏว่าส่วนของวงจรที่มีทรานซิสเตอร์ประมาณ 4 หมื่นตัวถูกออกแบบโดยใช้เครื่องช่วย และใช้มือทำวงจรแบบ 1 หมื่นตัว ซึ่งทำซ้ำ ๆ กันได้ จึงผลิตส่วนที่เหลืออีก 980,000 ตัวโดยการทำซ้ำ ๆ เพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลา

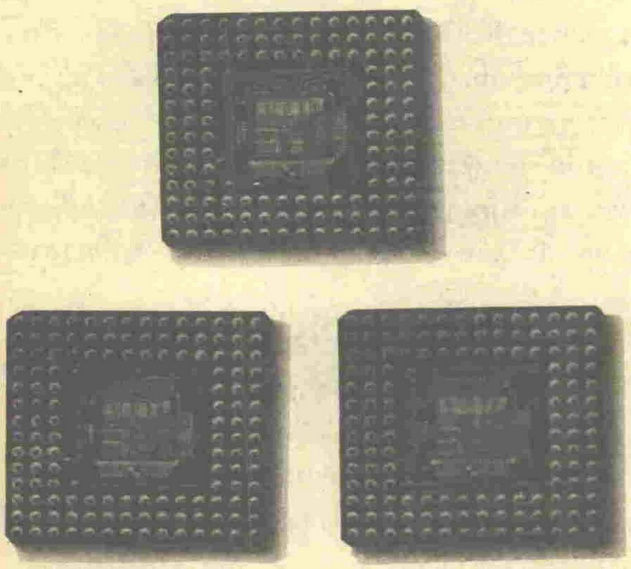
ความคิดริเริ่มที่ยังไม่มีผู้ใดอนุมัติ

ถึงแม้จะใช้เครื่องทำแต่ส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมลอจิก คือ วงจรควบคุมบัสเริ่มล้าหลังส่วนอื่น ๆ ทีมออกแบบพยายามหาเทคนิคต่าง ๆ นานาช่วยเร่งการออกแบบ แต่สิ่งที่เกิดขึ้นดูเหมือนจะฉุดส่วนอื่นให้ล้าหลังลงไปอีก ทีมงานต้องการให้หน่วยประมวลผลดึงข้อมูลจากไดนามิกแรมได้โดยตรง และ

ไม่ต้องผ่านแคชซึ่งเป็นสแตติกแรม การทำเช่นนี้จะทำให้เราสามารถทำไปป์ไลน์ได้ถึง 3 รอบเวลาก่อนที่บัสข้อมูลจะได้ข้อมูลมาจากไดนามิกแรม อีกประการหนึ่งคือ ข้อมูลจะวิ่งเข้าไปในไดนามิกแรมซึ่งทำงานช้า ทำให้ข้อมูลไม่ผูกพันกับหน่วยประมวลผล ตัวบัสจะต้องใช้คุณสมบัติที่เพิ่มขึ้นมาของหน่วยความจำ หมายความว่าตัวไดนามิกแรมสามารถเข้าถึงในแบบอนุกรมได้

ทั้งสองสิ่งที่เพิ่มขึ้นมานี้ทำให้การออกแบบยุ่งยากขึ้นอย่างคาดไม่ถึง ความยุ่งยากอันดับแรกก็คือ ตัวควบคุมลอจิกจะต้องติดตามรอบเวลาต่าง ๆ ของบัส ทำให้การออกแบบล่าช้าในขณะที่ส่วนอื่น ๆ ทำเสร็จหมดจนถึงขนาดวาดแบบแปลนแล้วด้วย กลุ่มที่ออกแบบบัสยังเริ่มต้นไปได้ไม่เท่าไรเลย ถึงจะทำให้เร็วแค่ไหนก็คงตามไม่ทันกลุ่มอื่น ๆ เป็นแน่ วิศวกรคนหนึ่งในทีมเกิดความคิดเฉียบแหลมขึ้นมาว่าในแผนก CAD มีเครื่องมือช่วยในการออกแบบจากจุดเริ่มต้นที่การเลียนแบบลอจิกของวงจร เครื่องมือนี้จะผลิตเป็นวงจรออกมาโดยใช้อุปกรณ์น้อยที่สุด จากนั้นก็ผลิตแบบแปลนออกมาอย่างอัตโนมัติเลยทีเดียว การกระทำแบบนี้ทำให้ประหยัดเวลาได้มาก แต่มีปัญหาตรงที่เครื่องมือนี้ยังอยู่ระหว่างการพัฒนาเหมือนกัน ยังไม่เคยมีการนำไปใช้งานอย่างจริงจัง

ทีมออกแบบเอ็น-เท็นจึงก็อบปี้โปรแกรมที่เป็นหัวใจของเครื่องมือการออกแบบจากแผนก CAD เข้าไปที่เมนเฟรมของบริษัทผ่านเครือข่ายในบริษัท จากนั้นก็มาดัดแปลงจนกระทั่งเครื่องมือออกแบบสามารถใช้งานได้ และนำมาช่วยการออกแบบบัสได้อย่างทันท่วงที ทำให้ความล่าช้าที่ฉุดรั้งคนอื่นหมดสิ้นไป ที่สำคัญก็คือเครื่องมือชิ้นนี้ผู้จัดการของแผนก CAD บอกว่ายังใช้ไม่ได้ จึงไม่ยอมอนุญาตให้คนอื่นใช้ เพราะเกรงว่าเครื่องดังกล่าวมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขอยู่ แต่ทีมออกแบบเอ็น-เท็นไม่ยอมเชื่อ กลับนำเครื่องมือนั้นมาใช้งานเลย แถมทำได้ดีอีกด้วย ผู้จัดการแผนก CAD เลยพูดออกตัวว่าอาจจะใช้ได้กับการออกแบบเอ็น-เท็นเท่านั้น ถ้าใช้ทำงานชิ้นอื่นคงจะทำงานได้ไม่สมบูรณ์



งานออกแบบที่สามารถทดสอบได้

ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการออกแบบเอ็น-เท็น กลุ่มผู้ออกแบบเกิดความกังวลใจเกี่ยวกับการทดสอบวงจรที่จะมีทรานซิสเตอร์อยู่ถึงล้านตัวว่าจะทำได้อย่างไร เพื่อความมั่นใจว่าการทดสอบจะต้องทำอย่างเพียงพอ จึงเสริมทีมด้วยวิศวกรจากฝ่ายผลิต เริ่มต้นก็โดยการช่วยออกแบบวงจรกับกลุ่มก่อนเพื่อความคุ้นเคยกับหน้าที่ต่าง ๆ บนชิพ จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมในการตรวจสอบวงจรว่าจะทำงานได้ถูกต้องเมื่อผลิตเป็นชิพจริง ๆ หรือไม่

ปกติแล้วในการตรวจสอบวงจรจะมีเครื่องมือง่าย ๆ เช่น ลอจิกอะนาไลเซอร์ที่ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ ทำการตรวจสอบวงจรในแผนกออกแบบ จากนั้นจึงส่งไปฝ่ายผลิตซึ่งจะมีเครื่องตรวจสอบที่ดีและซับซ้อนกว่า แต่เนื่องจากมีวิศวกรจากฝ่ายผลิตมาร่วมทีม ดังนั้นเครื่องมือที่ดีกว่าในแผนกผลิตทำให้ตรวจสอบได้แม่นยำกว่าเครื่องเล็ก ๆ ในแผนกออกแบบ นี่ก็คือข้อสำคัญอันหนึ่งเมื่อทางกลุ่มได้วิศวกรจากฝ่ายผลิตมาร่วมทีมด้วยตั้งแต่แรก ๆ ของการออกแบบ รายละเอียดย่อย ๆ ในการทดสอบที่วิศวกรจากฝ่ายผลิตคอยให้คำแนะนำแก่กลุ่มผู้ออกแบบอยู่เสมอคือ อย่าให้ขาของสัญญาณมีมากกว่า 128 เพราะจะทำให้เปลืองเงินมากขึ้นอีกหลายล้านเหรียญในการทดสอบ (ขั้นสุดท้ายเอ็น-เท็นมีขาสัญญาณเพียง 120 และขาสำหรับแหล่งจ่ายไฟและสายลงดิน 48 ขา)

รอบเวลาในชิพ

สิ่งสะดุดตาที่สุดอย่างหนึ่งของเอ็น-เท็นคือ มีการกระทำแบบขนานบนชิพได้ แคชที่เก็บคำสั่งไว้สามารถปล่อยคำสั่งออกมาพร้อม ๆ กันทีเดียว 2 คำสั่งจาก 2 เซกเมนต์ ขนาดเซกเมนต์ละ 32 บิตของแคช คำสั่งหนึ่งอาจไปที่ส่วนหนึ่งของชิพ เช่น ที่ RISC core และอีกคำสั่งหนึ่งอาจไปที่ส่วนคำนวณแบบมีจุดทศนิยม แต่เอ็น-เท็นยังทำได้มากกว่านี้อีก เช่น คำสั่งคณิตศาสตร์แบบมีทศนิยมอาจเรียกใช้งานส่วนบวกส่วนคูณได้พร้อม ๆ กัน ผลก็คือบางทีมีการทำงาน 3 อย่างพร้อม ๆ กันบนชิพในเวลาเดียวกัน

การจัดสถาปัตยกรรมบนชิพแบบนี้ช่วยเร่งเวลาในการคำนวณมาก แต่จะมีผลให้รอบเวลาในชิพซับซ้อนมากขึ้น ทำให้การออกแบบตัววงจรมีปัญหามาก เช่น ถ้าคำสั่งที่ทำ

พร้อม ๆ กัน 2 คำสั่งต้องการข้อมูลชุดเดียวกัน ข้อมูลจะถูกปล่อยออกไปในลักษณะอนุกรมเท่านั้น ปัญหาหลาย ๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการออกแบบเกี่ยวข้องกับการจัดรอบเวลาดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้น

ลอจิกที่หยุดการทำงานของส่วนใดส่วนหนึ่งบนชิพที่กำลังรอข้อมูลอยู่ก่อปัญหาให้ทีมงานมาก ในตอนเริ่มต้นวิศวกรผู้ออกแบบคิดว่าสถานการณ์เช่นนี้คงจะเกิดขึ้นไม่บ่อย แต่พอเอาเข้าจริง ๆ ปัญหามักเกิดบ่อยมาก จนการจัดระบบของลอจิกที่ไปหยุดส่วนต่าง ๆ ซักสับสน ในที่สุดจึงต้องเริ่มต้นออกแบบส่วนลอจิกที่ไปหยุดนี้ใหม่ทั้งหมด การตัดสินใจนี้ไม่ใช่ของง่าย เพราะงานทำไปได้ประมาณครึ่งทางแล้ว เมื่อตัดสินใจทำใหม่แน่ ๆ ต้องใช้วิศวกรถึง 4 คน เสียเวลาเพิ่มอีกประมาณ 1 เดือน

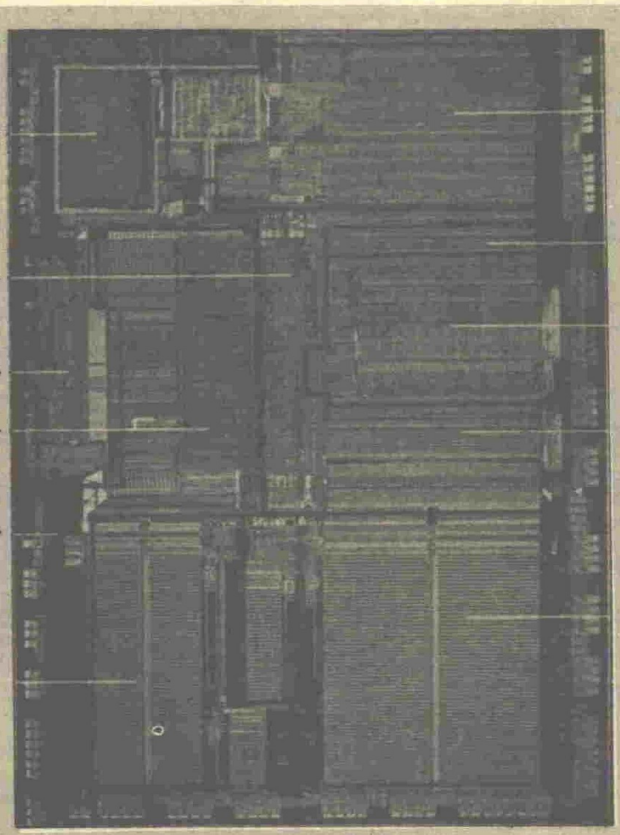
เมื่อวงจรที่ออกแบบเริ่มใหญ่ขึ้นถึงจุดที่มีทรานซิสเตอร์เกือบ 1 ล้านตัว เครื่องมือ CAD ที่ช่วยในการออกแบบมาตั้งแต่แรกเริ่มเสื่อมถอยสมรรถภาพ เนื่องจากความซับซ้อนของเอ็น-เท็น ตัวอย่างเช่น ถ้าจะวาดรูปแบบแปลนทั้งหมดออกมาโดยใช้เครื่องพล็อตเตอร์จะต้องใช้เวลามากกว่า 1 อาทิตย์ในการพล็อต การทดสอบการเลียนแบบวงจรจะใช้เวลาเป็นวัน ๆ กว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมา สุดท้ายก็ต้องตัดสินใจไม่พล็อตโดยใช้วิธีดูแบบแปลนจากหน้าจอมอนิเตอร์เมื่อต้องการตรวจสอบว่าวงจรถูกต้องหรือไม่

กัดเป็นชิพบนแผ่นซิลิคอน

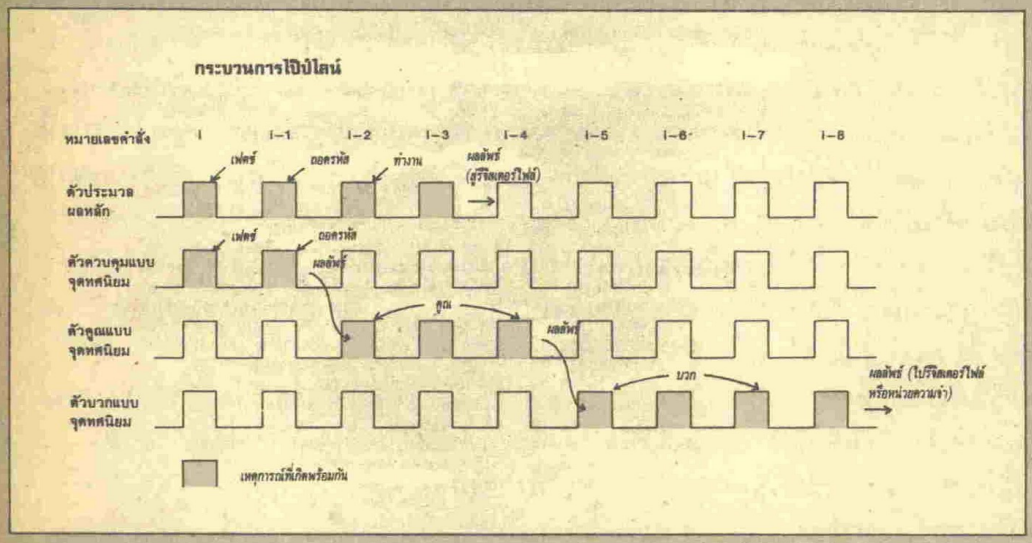
หลังจากกลางเดือนสิงหาทีมงานได้ส่งแบบแปลนทั้งหมดไปที่แผนกผลิตเพื่อกัดเป็นชิพ สิ่งที่ทีมออกแบบจะทำได้อย่างมากสุดก็คือรอคอยเท่านั้น เมื่อเวลาผ่านไป 6 อาทิตย์ชิพตัวแรกที่ทำเสร็จก็ส่งกลับมา วิศวกรออกแบบในทีมคนหนึ่งจึงรีบนำชิพมาทดสอบทันที การทดสอบครั้งแรกเริ่มที่ความถี่ 10 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งต่ำกว่าความถี่ 33 เมกะเฮิรตซ์ที่ออกแบบไว้พอสมควร เมื่อต่อสายทุกอย่างแล้วก็ทำการทดสอบหน้าที่ต่าง ๆ ตามที่ออกแบบไว้ ตอนแรกชิพไม่ทำงานเลย หลังจากทีมออกแบบใช้เวลา 20 นาที ด้วยความกังวลจึงเช็คทุกสิ่งทุกอย่างก็พบว่าขาหนึ่งที่ควรจะต่อกับแหล่งจ่ายไฟยังไม่ได้ต่อ พอต่อขานั้นเข้าไปแล้วก็โล่งใจเมื่อเห็นชิพทำงานได้เป็นปกติจนถึง 40 เมกะเฮิรตซ์

ทดสอบจนถึงตี 3 ได้ทั้งหมด 8,000 ชุด ซึ่งจำนวนการทดสอบเพียงเท่านี้มากพอที่กลุ่มผู้ออกแบบจะพูดออกมาด้วยความดีใจว่า "มันทำงานแล้ว"

เบอร์ที่เลือกสำหรับเอ็น-เท็นคือ i860 เพราะว่ามันมีความเกี่ยวพันเล็กน้อยกับ 80486 และเอ็น-เท็นได้ใช้สถาปัตยกรรมโครงสร้างของข้อมูลในระบบเดียวกันกับ 80486 นอกจากนั้นยังใช้โปรแกรมจัดการหน่วยความจำเหมือน 80486 ทั้งสองตัวสามารถนำมาใช้ร่วมกันในระบบเดียวกันและแลก-



ตัวแบบแปลนของ เอ็น-เท็น
จะเห็นได้ว่ามีทั้งหมด 8 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ตัวประมวลผลหลัก (RISC core), เพจจิ้ง, แคชคำสั่ง, แคชข้อมูล, รีจิสเตอร์แบบจุดทศนิยม ตัวคูณและตัวบวกแบบจุดทศนิยม และนาฬิกา



ลำดับเหตุการณ์การประมวลข้อมูลแบบไปป์ไลน์บนชิพเอ็น-เท็น ในรูป RISC core (ตัวประมวลผลกลาง) และตัวควบคุมแบบจุดทศนิยม (Floating point controller) ดึงคำสั่ง i ออกมาจากแคช (หน่วยความจำบนชิพ) พร้อม ๆ กัน ที่เวลาเดียวกันนั้นตัวประมวลผลกลางจะถอดรหัสคำสั่ง (Decode) คำสั่งก่อนหน้านี้คือคำสั่ง i-1 และในเวลาเดียวกันก็สั่งประมวลผลคำสั่ง i-2 อยู่ และส่งค่าที่ประมวลแล้วของคำสั่ง i-3 ไปที่รีจิสเตอร์ไฟล์ด้วย จะเห็นว่าที่เวลาหนึ่ง ๆ มีการกระทำถึง 4 อย่าง ในขณะเดียวกันที่ตัวควบคุมแบบจุดทศนิยมก็ถอดรหัสคำสั่ง i-1 และส่งคำสั่งที่ถอดรหัสแล้วไปที่ตัวคูณแบบทศนิยม ในเวลาเดียวกันตัวคูณก็กำลังประมวลผลคำสั่ง i-2, i-3 และ i-4 และส่งผลของ i-4 ไปที่ตัวบวกแบบทศนิยม ตัวบวกก็ประมวลผลคำสั่งที่ i-5, i-6, i-7 และคำสั่งที่ i-8 ก็ส่งผลที่ได้ไปที่รีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำ

เปลี่ยนข้อมูลกันได้

ออกสู่ตลาด

อินเทลคาดว่าจะขายเอ็น-เท็นในราคา 750 เหรียญสหรัฐฯ สำหรับ 33 เมกะเฮิรตซ์และ 1,037 เหรียญสหรัฐฯสำหรับ 40 เมกะเฮิรตซ์ ลูกค้าสามารถนำเอ็น-เท็นไปใช้งานได้ทันที เพราะเอ็น-เท็นมีโครงสร้างแหล่งเก็บข้อมูลคล้ายกับ 80386 ซึ่งออกสู่ตลาดมานานพอสมควร จึงใช้โปรแกรมจัดการตัวเครื่องของ 80386 มาดัดแปลงใช้ได้ อีกอย่างหนึ่งคือชิพเสริมของ 80386 ก็นำมาใช้กับเอ็น-เท็นได้

อินเทลได้ประกาศความร่วมมือกับ AT&T ในการสร้างยูนิกซ์แบบขนานบนเอ็น-เท็น บริษัทอื่น ๆ ที่จะเข้าร่วม อาทิ โอลิเว็ตตี้, คอนเวอร์เจนต์, PRIME

สำหรับผู้ผลิตซอฟต์แวร์อินเทลได้เสนอเครื่องมือ เช่น แอสเซมเบลอร์ ดีบั๊กเกอร์ ฟอร์แทรน และซีคอมพายเลอร์ เพื่อช่วยในการผลิตโปรแกรมที่มีคุณภาพ นอกจากนั้นอินเทลยังเสนอเครื่องมือชื่อ ฟอร์แทรนเวกเตอร์ไรเซอร์ ซึ่งจะเป็นตัวเปลี่ยนโครงสร้างของโปรแกรมแบบฟอร์แทรนทั่ว ๆ ไปมาเป็นโปรแกรมแบบเวกเตอร์ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะมีก็แต่เฉพาะซูเปอร์คอมพิวเตอร์ตัวใหญ่เท่านั้น

ไอบีเอ็มวางแผนที่จะนำเอ็น-เท็นมาใช้บนพีเอส/ทูบ้าง ในลักษณะเป็นตัวเร่งให้เครื่องทำงานได้เร็วขึ้น ซึ่งจะเพิ่มความเร็วเกือบเทียบเท่าซูเปอร์คอมพิวเตอร์มากขึ้น

กลุ่มผู้ขายมินิคอมพิวเตอร์ก็มีความตื่นเต้นพอใจกับเอ็น-เท็นด้วยเช่นกัน เพราะว่าวงจรที่เกี่ยวกับเลขอินทีเจอร์ของเอ็น-เท็นมีประสิทธิภาพสูงมากกว่าตอนริเริ่มออกแบบ โอลิเว็ตตี้และ PCS คอมพิวเตอร์วางแผนที่จะผลิตมินิคอมพิวเตอร์ออกขายโดยใช้เอ็น-เท็น

เมกะเทคก็เป็นบริษัทหนึ่งที่จะผลิตไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับงานด้านวิศวกรรมออกขายโดยใช้เอ็น-เท็น เพื่อแข่งขันกับโมโตโรล่า ซึ่งใช้ชิพ RISC เบอร์ 88000 และ ชิพ SPARC ของ SUN คลิปเปอร์จากอินเทอร์กราฟ และ R3000 โดย MIPS

อินเทลมีความเห็นต่อเอ็น-เท็นว่า เป็นการก้าวกระโดดจากชิพปัจจุบันที่ส่วนใหญ่เป็นแบบ 32 บิต วิศวกรของอินเทลเล็งเห็นประโยชน์ของเอ็น-เท็นอีกอย่างหนึ่งคือ ในขณะที่ชิพของคนอื่นต้องการชิพเสริม เช่น พวกหน่วยคำนวณแบบจุดทศนิยม ระบบจอภาพ และแคช แต่บนเอ็น-เท็นมีสิ่งเหล่านี้รวมไว้หมดแล้ว จึงไม่ต้องการชิพเสริม แต่มีคนวิจารณ์ว่าการรวมกันหมดบนชิพตัวเดียวมีข้อเสียคือ การนำไปใช้งานจะทำได้ไม่กว้างขวางเท่ากับชิพที่ต้องการชิพเสริม เพราะการรวมกันเช่นนี้จะจำกัดวงงานให้แคบลง คงต้องยกให้กาลเวลาเป็นตัวตัดสินว่าแบบไหนจะดีกว่ากัน อินเทลหวังว่าเอ็น-เท็นจะเป็นชิพมาตรฐานบนไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานของวิศวกร เหมือนกับที่ 8086 เป็นมาตรฐานของไมโครคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มในยุคแรกนั่นเอง